

KUUMAKORROOSIOTESTAUS- MENETELMÄT ENERGIA-TEOL- LISUUDESSA

TEKIJÄ: Kirsi Koivistoinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala		
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn tekijä(t) Kirsi Koivistoinen		
Työn nimi Kuumakorroosiotestausmenetelmät energiateollisuudessa		
Päiväys 7.6.2016	Sivumäärä/Liitteet	30/0
Ohjaaja(t) Jukka Huttunen, Markku Kosunen		
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössäni selvitin Varkauden energiatutkimuskeskukselle korroosiontestausmenetelmiä. Työssä perehdyttiin osaan kuumakorroosionmittausmenetelmistä.</p> <p>Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota erityisesti menetelmiin, joita käytetään kuumakorroosiomittaukseen energiateollisuudessa. Työssä tutkittiin ja selvitettiin testausmenetelmien toimivuutta korkeiden lämpötilojen ympäristössä.</p> <p>Tavoitteena oli löytää sopiva kuumakorroosiontestausmenetelmä energiatutkimuskeskuksen käyttöön. Työn tuloksena listattiin erilaisia vaihtoehtoja, joista tutkimuskeskukseen voidaan valita käyttötarkoitukseensa sopivin.</p>		
Avainsanat Korroosiosondi, kuumakorroosio, testausmenetelmät		

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Kirsi Koivistoinen			
Title of Thesis High-temperature Corrosion Methods in Energy Industry			
Date	7.6.2016	Pages/Appendices	30/0
Supervisor(s) Jukka Huttunen, Markku Kosunen			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to study corrosion testing methods for the Energy Research Center of Savonia University of Applied Sciences in Varkaus.</p> <p>The focus was on the usability of the research methods in high-temperature corrosion testing and the corrosion testing methods used in high-temperature corrosion research in energy industry.</p> <p>As a result of the study different options were listed from which the Energy Research Center can choose the method that meets its requirements in the best possible way.</p>			
Keywords corrosion probe, high-temperature corrosion, testing			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	PAINELAITTEET	7
3	LÄMPÖTILAT	7
4	KORROOSIO	8
4.1	KLOORIN MYRKYLLISYYS	8
4.1.1	Käyttökohde	8
4.2	Kuumakorrosio	9
4.3	Haitalliset aineet	9
5	METALLIT	10
5.1	Metallien jännitesarja	10
5.2	Teräs	10
6	SAVUKAASU	12
6.1	Korroosioindeksi	13
6.2	Rikkihappo (H_2SO_4 , vihtrilliöljy)	13
6.3	Suolahappo (vetykloridihappo, kloorivetyhappo)	14
6.4	Fluorivetyhappo	14
7	KORROOSION SEURANTA	14
8	KORROOSION VALVONTAJÄRJESTELMÄT	15
9	KORROOSION ESTO	15
9.1	Kemiallinen korrosio	16
9.2	Sähkökemiallinen korrosio	16
10	KORROOSIOSONDI	17
10.1	Korroosiosondin asennus	18
10.1.1	Säädettävä kiinnitys	19
10.2	Korroosiosondin jäähdytys	20
10.2.1	Ilma	20
10.2.2	Vesikierto	20
11	SAVCORIN ERILLINEN ONLINE KORROOSIOANTURI	21
11.1	Corrosometer Systems	21
12	VAIHTOEHTOISIA LAITTEITA	22

12.1	Korroosiokupongit kuten ASME G4 ja NACE RP	22
12.2	Gasmet Dx-4000 FTIR savukaasuanalysaattori	24
12.3	Korroosiouuni Carbolite 301	25
12.3.1	Tutkimustuloksia korroosiounilla	25
12.3.2	Koenäytteet	26
13	YHTEENVETO	29

1 JOHDANTO

Varkauden energiatekniikantutkimuskeskus tuottaa asiakaslähtöisiä energiatutkimuspalveluja teknologia-alan yrityksille sekä julkisen sektorin toimijoille. Tutkimusympäristöä käytetään erilaisten polttoaineiden kehittämiseen ja testaamiseen. Ympäristössä myös tutkitaan palamista, päästöjä sekä materiaalien korroosiokäyttäytymistä arina- ja leijupetikattilaympäristössä. Lisäksi energiatekniikan laboratorioissa on mahdollista analysoida sekä tutkia testaamalla korroosiokäyttäytymisen sekä muo-
dostumisen määrittystä. (Savonian 2016.)

Höyrykattilamateriaaleilta vaaditaan monenlaisia ominaisuuksia. Materiaalilta vaaditaan kuuman-
sekä korroosionkestävyyttä, sillä kattilan lämpötilat ovat suuria ja polttoaineiden savukaasuseokset aiheuttavat materiaalipintojen korrosoitumista.



KUVA 1. Sondi

2 PAINELAITTEET

Painelaitteet ovat teollisuudessa käytettäviä paineenalaisia laitteita kuten painesäiliöitä, putkistoja, höyrykattiloita sekä varolaitteita ja paineenalaisia lisälaitteita. Painelaitteista aiheutuvan onnettomuuden vuoksi yhteiskunta on lainsäädännöllä asettanut tiukat vaatimukset painelaitteiden suunnittelulle, valmistukselle ja käytölle. (Tukes 2003)

Painelaitteiden valmistus ja käyttöönotto vaatimukset ovat voimakkaasti muuttuneet. Painelaitedirektiivit määrittelevät markkinoiden ohjeet painelaitemateriaaleille lisäten valmistajien vastuuta. Painelaitteiden käyttäjiltä edellytetään aktiivisia menettelyjä varmistaen näin painelaitteiden turvallisen käytön. Painelaitteissa ja laitekokonaisuuksissa on myös oltava CE-merkintä käyttöohjeineen ja niistä on laadittava EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus. (Tukes 2003)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä (938/1999) painelaitteista on sovellettava painelaitteisiin ja laitekokonaisuuksiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar. (Tukes 2003; FINLEX 2016)

”Painelaitedirektiivi ja painelaitepäätös käsittelevät paineesta aiheutuneita vaaroja ja koskevat ensimmäistä markkinoille saattamista. Painelaitteiden käyttöön ja käytön- aikaisiin tarkastuksiin liittyvä lainsäädäntö on huomioitu kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä KT Mp 953/1999 painelaiteturvallisuudesta. Direktiivin olennaisten turvallisuusvaatimusten tueksi on laadittu lukuisia painelaitteiden suunnittelua, valmistusta, tarkastusta ja testausta käsitteleviä yhdenmukaistettuja standardeja.” (SFS-STANDARDISOINTI)

3 LÄMPÖTILAT

Korkeimmat lämpötilat vallitsevat kattiloiden tulipesissä joista savukaasut johdetaan tulistimiin.

Lämpötilat ovat korkeimmillaan juuri tulipesässä nostaen myös savukaasujen lämpötilankin korkeaksi. Kattiloiden tulipesien lämpötilat vaihtelevat jopa 800-1300 asteen välillä ja tulistimien jälkeenkin savukaasujen lämpötilat pyörivät 600-800 asteessa. (Kirssi 2007.)

4 KORROOSIO

Korroosio on teräksen muuntumista alkuperäiseen muotoonsa. ”Korroosio on metallin hapettumisesta tai kemiallisesta liukenemisesta johtuvaa syöpymistä aiheuttaen kappaleen tehollisen poikkipinta-alan kutistumista. Eri ympäristöolosuhteet kuten kosteus, happamuus, epäpuhtaudet ja happipitoisuus vaikuttavat korroosion etenemisnopeuteen. Korroosio jakaantuu useaan alalajiin, joita ovat mm. rakokorroosio, pistekorroosio, jännityskorroosio ja korroosioväsyminen.” (Koivistoinen 2015; Kuopio 2014.)

Korroosion taustalla on kemiallinen tai sähkökemiallinen ilmiö. Korroosioilmiöiden ehkäisyyn monien materiaalien korroosiokestävyys perustuu kokonaan tai osittain metallin pinnalle hapettumisen myötä syntyvän oksidin suojaavaan vaikutukseen. Lähes kaikki metallit muodostavat hapen kanssa reagoidessaan suojaavan oksidikerroksen. Eli happi ja liuennut metallipinta reagoidessaan keskenään muodostavat oksidikerroksen, joka suojaa materiaalia korroosiolta. (Kirssi 2007.)

Korkealämpötilakorroosio johtuu pelkistävästä olosuhteista, jolloin hapen osapaine ei riitä oksidikerroksen muodostamiseen. Erityisesti ylikorkeissa pintalämpötiloissa oksidikerroksen muodostama suojaeho on heikoimmillaan. Näin materiaalia suojaava oksidikerros heikentyy korkeissa lämpötiloissa erityisesti rikkioksidin ja kloorin vaikutuksesta. Erityisesti rikkioksidi ja kloori vaikuttavat merkittävästi korroosion voimistumiseen. (Kirssi 2007.)

Lisäksi sulasta tuhkasta muodostuneen faasin vaikutuksesta kaikilla kuumilla lämpöpinnoilla esiintyy usein korroosiota, sillä reaktiot ovat nopeampia nesteessä kuin kiinteässä faasissa heikentäen oksidisuoja. Rikkipitoisia polttoaineita käytettäessä sulfioituminen on suuri ongelma, sillä metallin ja rikkioksidin reagoidessa syntyvä sulfidikerros heikentää suojaavaa oksidikerrosta. Klooripitoisen polttoaineet taas muodostavat klorideja jotka heikentävät materiaalin pintojen korroosionkestoa. (Kirssi 2007.)

4.1 KLOORIN MYRKYLLISYYS

Kloorikaasu ärsyttää hengityselimiä ja silmiä ja on **erityisen vaarallinen lapsille ja vanhuksille. Se voi aiheuttaa kehitysvammaa sikiöaikaisille syntymättömille lapsille.** (T3DB, 2014-12-24.)

4.1.1 Käyttökohde

”Klooria käytetään Suomessa pääasiassa veden desinfiointiin, suolahapon ja hypokloriitin sekä karboksimeetyyliselluloosan (CMC) valmistukseen. Paperiteollisuudessa klooria käytetään valkaisuaineena sekä muussa teollisuudessa muun muassa PVC-muoveissa, lääkkeissä, tekstiileissä, maaleissa ja hyönteismyrkkien valmistuksessa. Orgaaninen kemia käyttää klooria hapettimena ja substituutioreaktioissa. Ilotulitteissa ja kiinanpommeissa saatetaan käyttää klooraattipohjaisia räjähteitä.” (Detector Oy 20.5.2016.) Erityisesti poltettavat yhdyskuntajätelakeet sisältävät runsaasti klooria.

4.2 Kuumakorroosio

Kuumakorroosio eli korkeassa lämpötilassa tapahtuvaa hapettumista. Hapettavissa olosuhteissa tapahtuva korroosio on teräsmateriaalin hilseilyä sekä tasaista syöpymistä. Ympäristöolosuhteet korkeissa lämpötiloissa ovat vedettömiä sekä happipitoisuudeltaan vähäisiä, näin korkeiden lämpötilojen vallitessa teräsmateriaalin suojaavan oksidikerroksen muodostuminen hidastuu. Lämpötilan sekä syövyttävän ympäristön vaikutuksesta reaktionopeudet kasvavat. Syövyttävän ympäristön vaikutuksesta teräsmateriaalin pintaan kiinnittyy myös syövyttäviä suoloja sekä kuona-aineita, aiheuttaen tasaista syöpymistä. Täten korkeassa lämpötilassa teräsmateriaalin syöpyminen on yleensä tasaista syöpymistä. (Tunturi 1988, 127.)

Kuumakorroosiolla tarkoitetaan materiaalin kuumen kestävyyttä korkeissa lämpötiloissa. Materiaalin käyttöolosuhteissa on huomioitava. (Koivistoinen 2015.)

- Käyttöpaine ja sen vaihtelu
- Käyttölämpötila ja sen vaihtelu
- Sisältö
- Korroosio, jännityskorroosioriskit
- Sijainti, paikka
- Mahdollinen käyttöikävaatimus
- Materiaalin hinta
- Materiaalin saatavuus
- Materiaalin hitsattavuus ja hitsausaineiden saatavuus

4.3 Haitalliset aineet

Jäteperäisen polttoaineen haitallisia aineita, jotka aiheuttavat korkeissa lämpötiloissa korroosiota aineosillaan ovat rikki (S), kloori (Cl), bromi (Br), kalium (K) ja natrium (Na) sekä raskasmetallit lyijy (Pb) ja sinkki (Zn).

5 METALLIT

5.1 Metallien jännitesarja

Metallit ”tykkäävät” luovuttaa elektroneja kemiallisessa reaktiossa. Mitä herkemmin metalliatomit luovuttavat elektroneja, sitä nopeammin metalli liukenee happoon. Hapot sisältävät aina vetyä ja vety hapettaa epäjaloja metalleja. Tämän perusteella metallit voidaan ryhmitellä jännitesarjaksi, jossa vety jaottaa metallit epäjaloihin ja jaloihin metalleihin.

Metallien jännitesarjassa:

- epäjalot metallit luovuttavat elektroneja kiivaasti
- jalot metallit luovuttavat elektroneja niukasti

Metallien jännitesarjaa tarvitaan käsiteltäessä hapetus-pelkistysreaktioita. Hapettuminen tarkoittaa elektronien luovuttamista ja pelkistyminen elektronien vastaanottamista.

TAULUKKO 1. Metallien jännitesarja

<i>Epäjalot metallit</i>											<i>Jalot metallit</i>			
Li	K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Ni	Pb	H	Cu	Ag	Pt	Au

Vedyn vasemmalla puolella olevat epäjalot metallit reagoivat happojen kanssa tuottaen vetykaasua, kun taas vedyn oikealla puolella olevat jalot metallit reagoivat vain tiettyjen happojen kanssa muodostamatta vetykaasua. (Huovinen 1991.)

5.2 Teräs

Teräksen peruseosaineita ovat myös mangaani (Mn) ja pii (Si). Mangaani on hiilen jälkeen yleisin seosaine. Mangaania seostetaan kaikkiin teräksiin tiivistysaineeksi sitomaan haitallista rikkiä sekä happea. Mangaani kasvattaa teräksen lujuutta ja iskusitkeyttä, mutta nostaa hiiliekvivalenttia ja huonontaa sitä kautta hitsattavuutta. Mangaani myös edistää austeniitin rakeenkasvua sekä lisää karkenevuutta aiheuttaen päästö- ja sinihaurautta. Mangaanilla on kuitenkin niin suuri parantava vaikutus iskusitkeyteen, että mangaanin voidaan katsoa joissain tapauksissa parantavan hitsattavuutta. Piitä käytetään pääasiassa teräksen tiivistykseen eli sitomaan teräksessä olevaa happea. Pii lisää lujuutta ja pienentää haurasmurtumataipumusta. Pii tekee sulan juoksevammaksi ja muodostuu epäpuhtauksien kanssa kuonaksi hitsin pinnalle. Pii on hitsauksessa lähes neutraali tai hitsattavuutta hieman parantava seosaine.

Kromia (Cr), kuparia (Cu), molybdeenia (Mo) ja nikkeliä (Ni) ei lisätä tavallisesti niukkaseosteisiin teräksiin, vaan niitä on jäännöspitoisuuksina. Lujiin teräksiin näitä seosaineita lisätään suhteellisen paljon ominaisuuksien parantamiseksi. Kaikki neljä seosainetta vaikuttavat hiilielkivavalenttiin CEV ja siksi niitä myös pidetään hitsattavuutta heikentävinä. Kromi parantaa lujuutta, säänkestävyyttä, kulumiskestävyyttä ja hilseilykestävyyttä, mutta heikentää hitsattavuutta, koska se edistää rakeenkasvua sekä aiheuttaa karkenemista ja monia haurausilmiöitä. Molybdeenia käytetään usein kromin 49 kanssa ja se ehkäisee kromin aiheuttamia haurausongelmia. Lisäksi se parantaa myötölujuutta ja virmislujuutta, mutta heikentää hitsattavuutta edistämällä karkenevuutta ja karbidien muodostumista. Kupari parantaa säänkestävyyttä, lujuutta ja iskusitkeyttä eikä aiheuta muita ongelmia hitsaukseen liittyen kuin erkautuskarkenemista. Nikkeli parantaa tehokkaasti sitkeyttä ja estää haurautta. Nikkeli ei juuri vaikeuta hitsausta, mutta se aiheuttaa jonkin verran muodonmuutosten kasvua. (Pesonen 2014.)

Niobia (Nb), vanadiinia (V), titaania (Ti) ja alumiinia (Al) käytetään lujien terästen mikroseosaineina pieninä pitoisuuksina. Nämä mikroseosaineet muodostavat teräksessä hiilen ja typen kanssa erittäin pieniä erkautuneita nitridejä, jotka estävät raekoon kasvua korkeissa lämpötiloissa esimerkiksi hitsauksen yhteydessä. Pieni raekoko nostaa lujuutta ja parantaa iskusitkeyttä. Vanadiini ehkäisee rakeenkasvua jo pieninä pitoisuuksina, mutta lisää tehokkaasti karkenevuutta. Hiilielkivavalenttia kasvatavana seosaineena sitä voidaan pitää hitsaukselle haitallisena aineena. Niobi sitoo hiilen karbideiksi ja estää rakeen kasvua, joten se on hitsauksen kannalta hyödyllinen seosaine. Titaani sitoo tehokkaasti epäpuhtauksia, hiiltä, typpeä ja vetyä omiksi yhdisteiksi estäen vanhenemista, vetyhaurautta ja karkenemista. Titaani estää myös rakeenkasvua. Alumiini on tiivistysaine ja se sitoo happea parantaen iskusitkeyttä. Alumiini sitoo titaanin kanssa myös typpeä estäen vanhenemisilmiötä sekä vähentää rakeenkasvua valssauksessa, jonka vuoksi seos hienoraeterästen perusseosaine. (Miekk-oja H.M, 1986.; Kirssi, 2007.)

Lisäksi teräksissä on rikkiä (S) ja fosforia (P) sekä liuenneita kaasuja, kuten typpeä (N), vetyä (H) ja happea (O). Nämä ovat yleensä ei-toivottuja epäpuhtauksia ja niiden pitoisuudet pyritään pitämään mahdollisimman pieninä. Rikki ja fosfori huonontavat iskusitkeyttä ja lisäävät kuuma- halkeiluriskiä hitsauksessa. Typpi ja vety lisäävät teräksen vanhenemisherkkyyttä ja vety aiheuttaa kylmähalkeiluriskiä hitsauksessa. Happi aiheuttaa huokoisuutta ja heikentää iskusitkeyttä.

Terästen perusaineryhmässä teräkset on ryhmitelty CR ISO 15608 samankaltaisten metallurgisten ja hitsattavuusominaisuuksien perusteella ryhmiin.

Terästen perusaineryhmät	
Ryhmä	Teräslaji
1	Teräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{m0} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ ja analysipitoisuudet ovat %: C $\leq 0,25$, Si $\leq 0,60$, Mn $\leq 1,8$, Mo $\leq 0,70$, S $\leq 0,045$, P $\leq 0,045$, Cu $\leq 0,40$, Ni $\leq 0,5$ %, Cr $\leq 0,3$, Nb $\leq 0,06$, V $\leq 0,12$, Ti $\leq 0,05$.
1.1	Teräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{m0} \leq 275 \text{ N/mm}^2$
1.2	Teräokset joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $275 \text{ N/mm}^2 < R_{m0} \leq 360 \text{ N/mm}^2$
1.3	Normalisoidut hienoraeteräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{m0} \geq 360 \text{ N/mm}^2$
1.4	Säikeistävät teräokset, joiden analysipitoisuudet saattavat ylittää annetut pitoisuudet ryhmän 1 seosaineille
2	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräokset ja valuteräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{m0} \geq 360 \text{ N/mm}^2$
2.1	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräokset ja valuteräokset, ohjeellinen ylempi myötöraja $360 \text{ N/mm}^2 < R_{m0} \leq 460 \text{ N/mm}^2$
2.2	Termomekaanisesti valssatut hienoraeteräokset ja valuteräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{m0} \geq 460 \text{ N/mm}^2$
3	Nuorutusteräokset teräokset, paitsi ruostumattomat teräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{m0} \geq 360 \text{ N/mm}^2$
3.1	Nuorutusteräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $360 \text{ N/mm}^2 < R_{m0} \leq 690 \text{ N/mm}^2$
3.2	Nuorutusteräokset, joiden ohjeellinen ylempi myötöraja $R_{m0} \geq 690 \text{ N/mm}^2$
3.3	Erkautuskarkenevat teräokset, paitsi ruostumattomat teräokset
4	Niukasti vanadiinilla seostetut Cr-Mo-(Ni) teräokset, joissa Mo $\leq 0,7$ % ja V $\leq 0,1$ %.
4.1	Teräokset, joissa Cr $\leq 0,3$ % ja Ni $\leq 0,7$ %
4.2	Teräokset, joissa Cr $\leq 0,7$ % ja Ni $\leq 1,5$ %
5	Vanadiinilla sisältämättömät Cr-Mo-teräokset, joissa C $\leq 0,35$ %
5.1	Teräokset, joissa $0,75 \leq \text{Cr} \leq 1,5$ % ja Mo $\leq 0,7$ %
5.2	Teräokset, joissa $0,15 \leq \text{Cr} \leq 3,5$ % ja $0,7 \leq \text{Mo} \leq 1,2$ %
5.3	Teräokset, joissa $3,5 \leq \text{Cr} \leq 7,0$ % ja $0,4 \leq \text{Mo} \leq 0,7$ %
5.4	Teräokset, joissa $7,0 \leq \text{Cr} \leq 10,0$ % ja $0,7 \leq \text{Mo} \leq 1,2$ %
6	Runsaasti vanadiinilla seostetut Cr-Mo-(Ni)-teräokset
6.1	Teräokset, joissa $0,3 \leq \text{Cr} \leq 0,75$ %, Mo $\leq 0,7$ % ja V $\leq 0,35$ %
6.2	Teräokset, joissa $0,75 \leq \text{Cr} \leq 3,5$ %, $0,7 \leq \text{Mo} \leq 1,2$ % ja V $\leq 0,35$ %
6.3	Teräokset, joissa $3,5 \leq \text{Cr} \leq 7,0$ %, Mo $\leq 0,7$ % ja $0,45 \leq \text{V} \leq 0,55$ %
6.4	Teräokset, joissa $7,0 \leq \text{Cr} \leq 12,5$ %, $0,7 \leq \text{Mo} \leq 1,2$ % ja V $\leq 0,35$ %
7	Ferriittiset, martensiittiset tai erkautuskarkenevat ruostumattomat teräokset joissa C $\leq 0,35$ % ja $10,5 < \text{Cr} \leq 30$ %
7.1	Ferriittiset ruostumattomat teräokset
7.2	Martensiittiset ruostumattomat teräokset
7.3	Erkautuskarkenevat ruostumattomat teräokset
8	Austeniittiset ruostumattomat teräokset, Ni ≤ 31 %
8.1	Austeniittiset ruostumattomat teräokset, joissa Cr ≤ 19 %
8.2	Austeniittiset ruostumattomat teräokset, joissa Cr > 19 %
8.3	Mangaaniseosteiset austeniittiset ruostumattomat teräokset, joissa $4 \leq \text{Mn} \leq 12$ %
9	Nikkeliseostetut teräokset, joissa Ni $\leq 10,0$ %
9.1	Nikkeliseostetut teräokset Ni $\leq 3,0$ %
9.2	Nikkeliseostetut teräokset $3,0 \leq \text{Ni} \leq 8,0$ %
9.3	Nikkeliseostetut teräokset $8,0 < \text{Ni} \leq 10,0$ %
10	Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräokset (duplex-teräokset)
10.1	Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräokset, joissa Cr $\leq 24,0$ %
10.2	Austeniittis-ferriittiset ruostumattomat teräokset, joissa Cr $> 24,0$ %
11	Teräokset, jotka kuuluvat ryhmä 1, paitsi että $0,25 \leq \text{C} \leq 0,85$ %
11.1	Ryhmän 11 teräokset, joissa $0,25 \leq \text{C} \leq 0,35$ %
11.2	Ryhmän 11 teräokset, joissa $0,35 \leq \text{C} \leq 0,5$ %
11.3	Ryhmän 11 teräokset, joissa $0,5 \leq \text{C} \leq 0,85$ %

KUVA2. Teräksen perusaineryhmät (LEKOLA & MAKKONEN 2005; Miekko-oja H.M 1986.)

6 SAVUKAASU

Savu syntyy epätäydellisestä palamisesta. Epätäydellisessä palamisessa orgaaniset aineet palavat epätäydellisesti synnyttäen savukaasuseoksia. Savukaasu sisältää erilaisia hienojakoisia kiinteitä hiukkasia ja nestepisaroita. Savukaasun kemiallinen koostumus riippuu palavasta aineesta sekä palamisolosuhteista. Savukaasun kemiallisesta koostumuksesta kuten rikkioksidoista, vetyklorideista ja vetyfluorideista muodostuu kosteassa ilmassa monia materiaaleja syövyttäviä happoja kuten rikkihappoa, suolahappoa ja fluorivetyhappoa. (Työterveyslaitos, 2016; Mauseh, 1991; Lasky, 1995.)

6.1 Korroosioindeksi

Savun kiinteiden hiukkasten mittaa kuvataan nanometreistä mikrometreihin ja savun aiheuttamaa korroosiovaikutusta kuvataan korroosioindeksillä.

Korroosioindeksin (CI) laskennallinen kaava:

(Materiaalin syöpyminen ($\text{\AA}/\text{min}$))/(Kaasumaisten aineiden pitoisuus/ilmassa (g/m^3))

Ångström (\AA) pituuden mittayksikkö ei ole SI-järjestelmän mukainen yksikkö vaan käytännöllinen suuruusluokka ilmoitettaessa atomien ja molekyylien mitat.

1 ångström $\text{\AA} = 10^{-10}$ metriä = 0,1 nanometriä = 100 pikometriä

1 ångström $\text{\AA} = 100\,000$ fermiä = 100 000 femtometriä

Laskennassa on otettava huomioon myös teräksen seosainepitoisuudet.

Pistekorroosioindeksin laskennassa ruostumattomien terästen seosainepitoisuuksiin perustuva laskennallinen arvio kuvastaa materiaalin pistekorroosiokestävyyden (*PREN*).

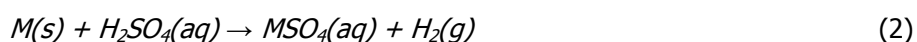
Pistekorroosioindeksin yleisin kaava, jossa huomioidaan kromin, molybdeenin ja typen painoprosentit, on:

$$PREN = (Cr) + 3,3(Mo) + 16(N) \quad (1)$$

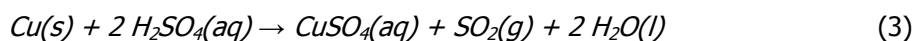
(Mark 2006; Lasky 1995.)

6.2 Rikkihappo (H_2SO_4 , vihtrilliöljy)

Rikkihappo (H_2SO_4 , vihtrilliöljy) on voimakkaasti syövyttävä, veteen täysin liukeneva epäorgaaninen happo. Ulkomuodoltaan rikkihappo on hajuton puhtaan kirkas, väritön tai ruskea neste. Rikkihapon ja metallin reagoiessa keskenään muodostuu vetykaasua. Jo laimea rikkihappo aiheuttaa hapettumista epäjaloissa metalleissa. ”Tällöin hapon vetyatomit pelkistyvät, ja reaktiossa syntyvän metallisulfaatin lisäksi muodostuu myös vetykaasua. Epäjalot metallit, jotka muodostavat ionin hapetusluvulla $+II$, reagoivat rikkihapon kanssa seuraavasti (M merkitsee tässä mielivaltaista metallia):” (Wikipedia, Akkuhappo)



”Jalot metallit sijaitsevat jännitesarjassa vedyn jäljessä, joten vetyionit eivät kykene hapettamaan niitä, eivätkä ne liukene laimeaan rikkihappoliuokseen vetyä vapauttaen. Sen sijaan jaloista metalleista kupari, elohopea ja hopea liukenevat väkevään rikkihappoon, joka on erittäin vahva hapetin.” (Wikipedia, Akkuhappo)



"Erittäin jalot metallit, kuten platina ja kulta, eivät reagoi hapettuen edes väkevän rikkihapon kanssa. Vaikka lyijy on epäjaloinen metalli, laimea rikkihappo ei kykene juurikaan liuottamaan sitä. Tämä johtuu siitä, että lyijyn ja rikkihapon reaktiossa syntyvä lyijysulfaatti on erittäin niukkaliukoista ja muodostaa lyijymetallin päälle suojaavan kerroksen. Erittäin väkevä ja noin 260-asteinen kuuma rikkihappo sen sijaan liuottaa myös lyijymetallin täydellisesti." (Wikipedia, Akkuhappo)

6.3 Suolahappo (vetykloridihappo, kloorivetyhappo)

Suolahappo on vahva voimakkaasti syövyttävä happo, joka on vetykloridin vesiliuos.

Vetykloridi on pistävänhajuinen kaasu (kiehumispiste $-85\text{ }^{\circ}\text{C}$), joka liukenee runsaasti veteen (725 g/l, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Muita synonyymejä ovat vetykloridihappo ja kloorivetyhappo.

Vetykloridia voidaan valmistaa myös laboratoriossa muun muassa ruokasuolasta (NaCl) ja väkevästä rikkihaposta (H_2SO_4):



(Työterveyslaitos 2016.)

6.4 Fluorivetyhappo

Fluorivetyhappo ($\text{HF} \cdot \text{H}_2\text{O}$) on heikko, mutta kuitenkin myrkyllinen ja voimakkaasti syövyttävä happo.

"Fluorivety syövyttää lasia, nahkaa ja useita metalleja. Aineen reaktiossa metallien kanssa muodostuu helposti syttyvää vetykaasua. Emäkset voivat reagoida kiivaasti fluorivedyn kanssa. Fluorikaasu reagoi kiivaasti 50-prosenttisen fluorivetyhappoliuoksen kanssa ja saattaa syttyä palamaan. Arseenitrioksidi ja kalsiumoksidi reagoivat fluorivedyn kanssa vapauttaen lämpöä. Fluorivety reagoi veden kanssa vapauttaen myrkyllisiä ja syövyttäviä höyryjä. Aineen liuetessa veteen lämmön vapautuminen aiheuttaa roiskevaaran." (Työterveyslaitos 2016.)

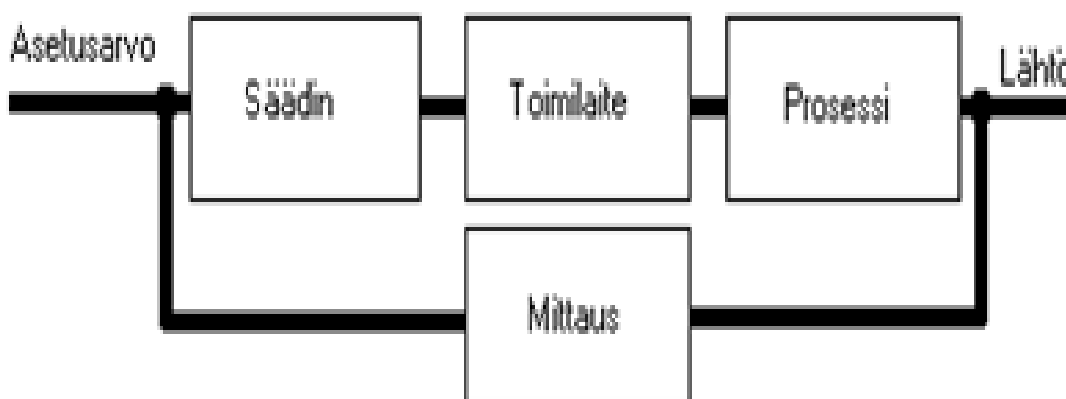
7 KORROOSION SEURANTA

Korroosion kasvua voidaan seurata erilaisilla menetelmillä ja mittauksilla. Seurannan tarkoituksena on havaita mahdolliset korroosiomuutokset sekä korroosion aiheuttajat mahdollisimman hyvissä ajoin, pystyen näin myös tulevaisuudessa ennakoimaan erityiskohteiden alttius korroosiolle.

Rakenteiden tai laitteiden jatkuvalla korroosion seurannalla tai korroosiomonitoroinnilla voidaan havaita mahdolliset korroosiomuutokset välittömästi. Vuositasolla arvaamattomien seisokkien aiheuttamilta häiriöiltä ja tuotantotappioilta voidaan näin välttyä.

8 KORROOSION VALVONTAJÄRJESTELMÄT

Korroosion ja lämpötilanmittaus valvontajärjestelmät ovat erityisen hyödyllisiä käytettäväksi kemiallisissa tuotantolaitoksissa ja jalostamoissa, sillä lämpötilojen muutoksilla voi olla merkittäviä vaikutuksia korroosioitumiseen.



KUVA 3. Säätöpiirin yleinen toimintaperiaate

Korroosion valvontajärjestelmässä eli prosessissa esiintyy niin mekaanisia kuin sähköisiä ilmiöitä. Prosessi sisältää nesteiden, kiinteän aineen ja kaasujen virtausta, lämmön siirtymistä tai kemiallisia reaktioita. Prosessit voidaan jakaa pienempiin osiin, osaprosesseihin. Prosessin ja joidenkin osaprosessien säädön sekä valvonnan toteutukseen tarvitaan instrumentointia. Instrumentoinnilla tarkoitetaan prosessin säätöpiiriin kuuluvia toimilaitteita, säätimiä sekä mittalaitteita. (OAM 17.5.2016)

9 KORROOSION ESTO

Korroosio on materiaalin muuttumista käyttökelvottomaan muotoon. Reaktion seurauksena materiaalin käyttötarkoitus heikkenee. Painohäviöistä, pinnanlaadun heikkenemisestä, putkistojen ja säiliöiden puhkeamisesta kärsitään taloudellisia tappioita.

Korroosion perussyynä on, että rakenneaineina käytettävät metallit eivät ole termodynaamisesti pysyviä. Korroosion kolme päätyyppiä ovat kemiallinen korroosio, sähkökemiallinen korroosio ja korkean lämpötilan korroosio.

9.1 Kemiallinen korroosio

Kemiallinen korroosio tapahtuu materiaalin liukenemisena syövyttävään ympäristöön. Kemiallista korroosiota voidaan vähentää alentamalla lämpötilaa, pinnoittamalla sekä käyttämällä stabiileja materiaaleja. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005.)

9.2 Sähkökemiallinen korroosio

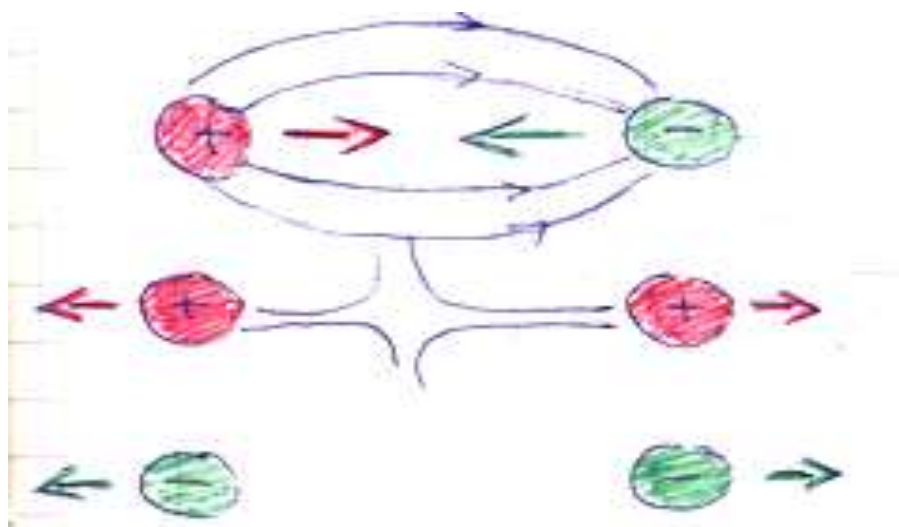
Sähkökemiallinen korroosio on kemiallista korroosiota yleisempi. Sähkökemiallisessa korroosiossa materiaali liukenee anodilla ioneiksi.

Sähkökemialliseen korroosioon tarvitaan:

- eri jalousasteiset metallit tai metallipinnat joista syntyy potentiaaliero. Potentiaaliero syntyy kahden eri elektrodipotentiaalisen omaavan metallin välille jolloin jalompi metalli on katodi (ei syövy) ja epäjalompi metalli toimii anodina (syöpyy).
- Elektronijohde, sähköä johtava yhteys
- Elektrolyyttinen (ionijohtava) yhteys

Näiden ehtojen täytyessä syntyy korroosiovirta ja epäjalomman metallin liukeneminen. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005.)

Ympäristön reagoidessa metallipinnan liukenemisen kanssa voi muodostua ehkäisevä passivaatiokalvo, jolloin korroosiovirta katkeaa. Metallien seosaineilla lisätään materiaalin korroosion kestävyyttä perustuen juuri passivoitumisilmiöön. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005.)



KUVA 4. Elektronien liikettä johtimissa

10 KORROOSIOSONDI

Korroosiosondin tarkoitus on teräsmateriaalien korrosioitumisen tutkiminen. Korroosion mittaamiseen on kehitelty erilaisia menetelmiä ja korroosiosondi on yksi niistä. Tutkittavan teräsmateriaalin palaset sijoitetaan sondin päähän. Näin kattilaan asennetun sondin tutkittavat materiaalin palaset joutuvat parhaiten kosketuksiin erilaisten kattilassa tapahtuvien savukaasuseosaineiden kanssa tekemisiin.

Korroosiosondin mittaustuloksia käytetään polttoaineiden aiheuttamien korroosiorasitusten ja turvallisen rakenteiden käyttöiän ennustamiseen.

Mittaustuloksista voidaan:

- tutkia nykyisiä ja uusia materiaaleja
- analysoida ajotilanteiden kasvattamaa korroosiota
- laatia rakenteiden käyttöikäennusteita
- optimoida polttoainemuutoksien vaikutusta



KUVA 5. Sondin jäädytys



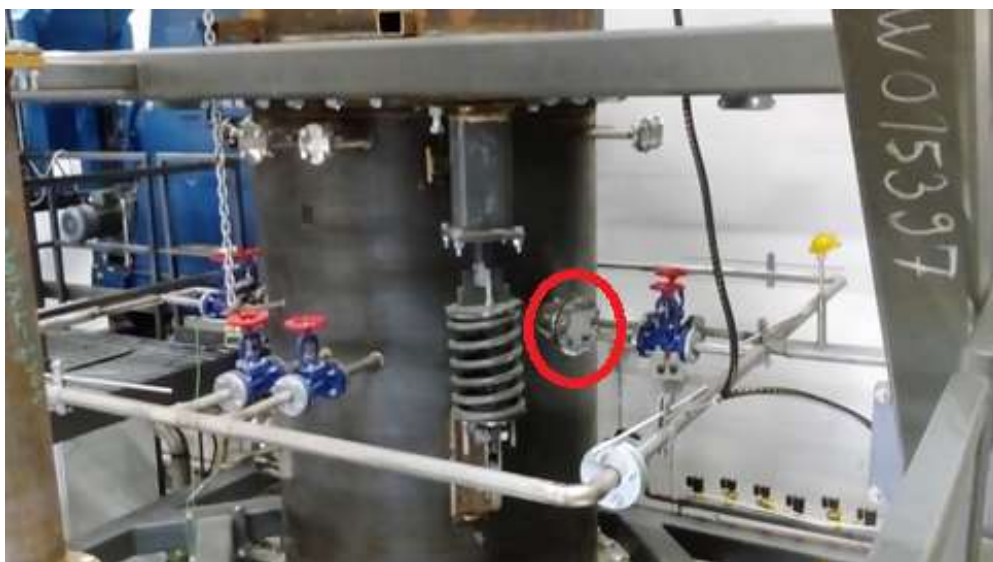
KUVA 6. Sondin koemateriaalit

10.1 Korroosiosondin asennus

Kuvista voidaan nähdä tyypillisiä korroosiosondin asennuskohteita. Korroosiosondille käytetään standardeja DN80 päästömittausyhteitä, joiden läpi jäähdytettävä sondi saadaan säädettyä tulipesässä haluttuun kohtaan. Tarvittaessa, eri paikoista mitattaessa, olisi hyvä olla käytössä useampia sondejia.



KUVA 7. Mahdollinen mittauspaikka



KUVA 8. Mahdollinen mittauspaikka



KUVA 9. Mahdollinen mittauspaikka

10.1.1 Säädettävä kiinnitys

Korroosiosondin kiinnityksessä olisi järkevä käyttää säädettävää tai kiinteää kiinnitystä. Säädettävän kiinnityksen osalta on huomioitava mahdollinen vuotovaara. Kiinteällä kiinnityksellä tällainen on eliminotavissa, mutta tällöin sondin paikkaa tulipesässä ei saa säädettyä ajon aikana. Sondin kiinnityksellä olisi mahdollistettava sondin asennus eri käyttökohteisiin tarpeen mukaan.



KUVA 10. Mahdollinen asennuspiste

10.2 Korroosiosondin jäähdytys

Jäähdytysmenetelmiä on useita, joilla voidaan mahdollistaa lämpötilojen tasoittuminen sekä lämpö-
määrän siirtyminen. Korroosiosondin jäähdytykseen on suunniteltu käytettävän yleisimpiä jäähdy-
tysmenetelmiä. Jäähdytys tapahtuu paineilmalla sekä vesikiertoisella jäähdytyksellä. Näin mahdolis-
tetaan sondin lämpötilan säätely.

10.2.1 Ilma

Ilmajäähdytys on yksinkertainen jäähdytys menetelmä, jolla voidaan siirtää lämpöä jäähdytyskoh-
teesta. Ilmajäähdytys ei ole yhtä tehokas kuin vesijäähdytys, mutta keveytensä ansiosta mainio lisä-
jäähdytys. Korroosiosondin ilmajäähdytyksessä käytetään paineilmaa ja liittynät ovat normaaleita
paineilmaliitäntöjä.

10.2.2 Vesikierto

Vesikierron toteutus olisi järkevintä toteuttaa siirrettävällä pumpulla. Pumpun teho muodostuu nes-
teen paineesta ja tilavuusvirrasta. Paine ja tilavuusvirta tuotetaan koneikon avulla, joka muodostuu
pumpusta ja pumppua käyttävästä voimakoneesta. Koneikot voivat olla käsikäyttöisiä tai ne voivat
toimia konevoimalla.

Pumpputyyppejä on kolmenlaisia hammasrataspumppuja, mäntäpumppuja ja siipipumppuja. *"Pum-
put voivat olla säätyvtilavuuksisia tai kiinteätilavuuksisia. Kiinteätilavuuksinen pumppu tuottaa aina
määrätyn tilavuusvirran tietyllä toimintanopeudella. Säätyvtilavuuksisten pumppujen tuottoa voi-
daan taas muuttaa toimintanopeuden säilyessä samana."* (Wikipedia, Hydraulikka))

Tehon siirtäminen

*"Pumpun avulla synnytetty tilavuusvirta siirretään putkien ja letkujen avulla haluttuun paikkaan. Let-
kujen avulla on mahdollista siirtää tilavuusvirta helposti liikkuviin osiin. Tämä on yksi mekaaninen
tehonsiirto."* (Wikipedia, Hydraulikka)

Tehon ohjaaminen

Tavallisesti tehoa ohjataan venttiilien avulla. Esimerkiksi suuntaventtiilillä virtaus voidaan ohjata ha-
lutulle toimilaitteelle ja paineenrajoitusventtiilillä voidaan estää painetta kohoamasta asetettua arvoa
suuremmaksi. (Luodemaa 2016)

Pumpun / moottorin virtaus

Laskukaavalla voidaan laskea pumpun tuottaman tai moottorin käyttämän virtauksen suhteen las-
keminen kierroslukuun ja kuutiolitavuuteen nähden. Laskukaava sille on:

$$f = Q/V \quad (5)$$

Laskukaavat ovat SI-yksiköissä, f pyörimisnopeus kierroksina sekunnissa (rpm), V kierrostilavuus kuutiometreinä (m^3) ja Q virtaus kuutioina sekunnissa (m^3/s) tai litroina minuutissa (l/min). (Tomlinson 1976.)

11 SAVCORIN ERILLINEN ONLINE KORROOSIOANTURI

Savcorin toiminta perustuu metallifysiikan, sähkökemian ja pintailmiöiden hallintaan. Savcor Process Oy:n online-korroosiomonitorisointijärjestelmällä mitataan reaaliaikaisesti korroosio-olosuhteiden muutoksia. Savcorin sähkökemiallisen menetelmän avulla voidaan materiaalin tilaa valvoa ja mitata keskeytyksettä. Savcorin sähkökemiallisen suojauksen käyttöönotto on nopea. Sähkökemialliseen suojaukseen kuuluvien elektrodien asennus paikoilleen suoritetaan parhaimmillaan vuorokaudessa. (Koponen 2014.)

11.1 Corrosometer Systems

Corrosometer-järjestelmän avulla tiedostetaan rakenteisiin kohdistuva korroosiorasitus poistamatta (laitetta) syövyttävästä ympäristöstä. Prosessin aiheuttamat muutokset rakenteiden korroosioon voidaan havaita heti ja niihin reagoida välittömästi. (Savcorproducts 2016.)

Mittaus- ja ohjausjärjestelmien avulla voidaan määrittää syöpymisen ja kulumisen kasvu metallista elementtiä (kuten lanka, putki tai nauha) pitkin sähköisenä valvontalaitteille muuttaen metallihäviö ja syöpymisnopeus lukemiksi. Mittausjärjestelmän tuloksien avulla voidaan analysoida korroosiota verraten prosessidataan ja näin selvittää mahdolliset ajotilanteet, jotka kasvattavat korroosiota. Rakenteiden käyttöikäennustetta laatiessa online data sekä jo kerätty historiadata voidaan hyödyntää laskennallisesti. (Savcorproducts 2016.)

Sähkökemiallista online tekniikkaa voidaan soveltaa kaikkiin korroosioympäristöihin, kuten öljy-, kaasu-, kemian-, sellu- ja paperiteollisuuteen yms. (Savcorproducts 2016.)



KUVA 11. Savcor Corrosometer Systems

12 VAIHTOEHTOISIA LAITTEITA

Korroosion mittaukseen ja tutkimiseen on käytettävissä myös toisenlaisia laitteistoja. Vaihtoehtoisina laitteina on käsitelty taloudellisia toteutuskelpoisia vaihtoehtoja.

12.1 Korroosiokupongit kuten ASME G4 ja NACE RP

Korroosiokupongin toiminta perustuu painohäviön mittaukseen. Kupongit punnitaan kokeiden alussa sekä lopussa. Painohäviön ja ajan perusteella voidaan arvioida korroosion nopeutta vuositasona.

KORROOSIOKUPONGIN HAITTOJA:

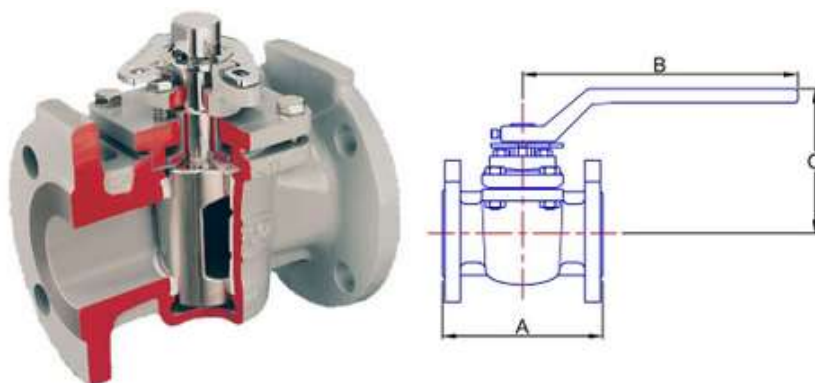
- Paikallinen
- Vasteaika suuri

KORROOSIOKUPONGIN ETUJA:

- Halpa ja taloudellinen menetelmä
- Visuaalinen tarkastus
- Kerrostumat havaittavissa
- Painohäviö mitattavissa

(Kuopio 2014.)

Durcon valmistamat ASTM G4:n tulppaventtiilit ovat standardin mukainen ja sallittu paineluokka on jopa 50 baria. Venttiileitä on saatavilla ASME 150 ja ASME 300 mallisina. Korroosiokupongit asennetaan tulppaventtiilin sisään. (Corrosion Resistant Products Ltd)



To suit pipework NB		Face - Face A	CL to end of wrench	CL to top of wrench
Inches	mm	mm	mm	mm
1/2"	15	108	152	121
3/4"	20	117	152	121
1"	25	127	178	122
1.1/2"	40	165	229	140
2"	50	178	305	160
3"	80	203	457	190
4"	100	229	762	229
6"	150	267	G/O	G/O

KUVA 12. ASME 150

12.2 Gasmet Dx-4000 FTIR savukaasuanalysaattori

Savukaasuanalysaattoreilla voidaan mitata savukaasujen kaasukomponentteja ja verrata siellä tapahtuneita muutoksia esim. online korroosiomittarin näyttämiin arvoihin. Savukaasupäästöjen mittaamiseen on olemassa Gasmet Dx-4000 FTIR savukaasuanalysaattori. Analysaattorin huonona puolena on sen lämmönkestävyys vain 180 asteeseen saakka.

Savukaasuanalysaattori on kalibroitu tällä hetkellä seuraavien kaasukomponenttien mittaamiseen (Savonia palvelut 2016.):

Vesi H_2O 0-30 %

Hiilidioksidi CO_2 0-100 %

Hiilimonoksidi CO 0-10000 ppm

Typpimonoksidi NO 0-5000 ppm

Typpidioksidi NO_2 0-5000 ppm

Typpioksiduuli N_2O 0-200 ppm

Rikkidioksidi SO_2 0-5000 ppm

Ammoniakki NH_3 0-200 ppm

Vetykloridi HCl 0-200 ppm

Vetyfluoridi HF 0-200 ppm

Metaani CH_4 0-200 ppm

Etaani C_2H_4 0-200 ppm

Propaani C_3H_8 0-200 ppm

Eteeni C_2H_4 0-200 ppm

Heksaani C_6H_{14} 0-200 ppm

Formaldehydi CHOH 0-200 ppm

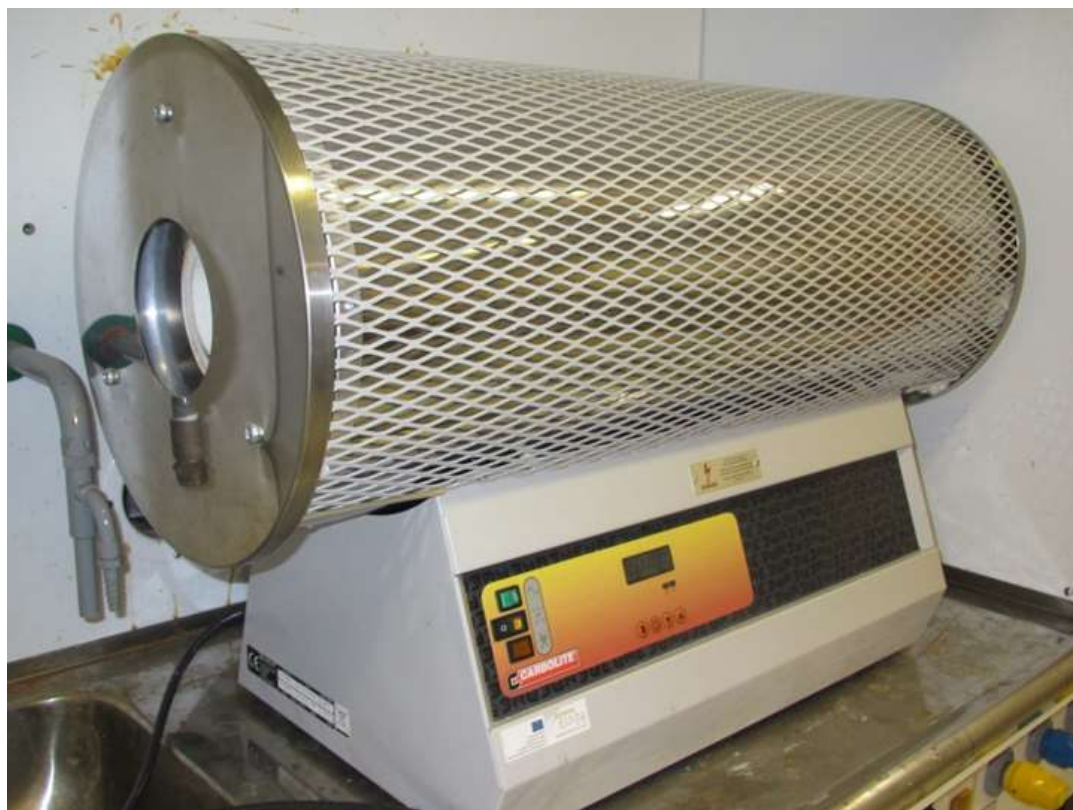
NMP eli N-Metyyli-2-pyrrolidoni $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}$ (0-200 ppm)



KUVA 13. Gasmet Dx-4000 FTIR

12.3 Korroosiouuni Carbolite 301

Korroosiouunilla saavutettava maksimilämpötila on jopa 1200 astetta. Uuni nostaa lämpötilaa 5 astetta/min pysähtyen asetettuun lämpötilaan esim. 550 astetta. Tämän jälkeen uunille asetettu ajanjakso esim. 96 h alkaa. Lämpötila pysyy asetetussa arvossaan asetetun ajanjakson ajan. Ajanjakson päätyttyä lämpötila laskeutuu takaisin huoneenlämpöiseksi. (Savonia palvelut 2016.)



KUVA 14. Savonia laboratorio, Carbolite 301

12.3.1 Tutkimustuloksia korroosiouunilla

Tutkimukset toteutettiin korroosiouuni Carbolite 301:llä käyttäen raaka-suolaa, joka sisälsi Na_2SO_4 84.2%, K_2SO_4 13.9% ja KCl 1.9%.



KUVA 15. Materiaali ja raakasuala Na_2SO_4 84.2%, K_2SO_4 13.9% ja KCl 1.9%.

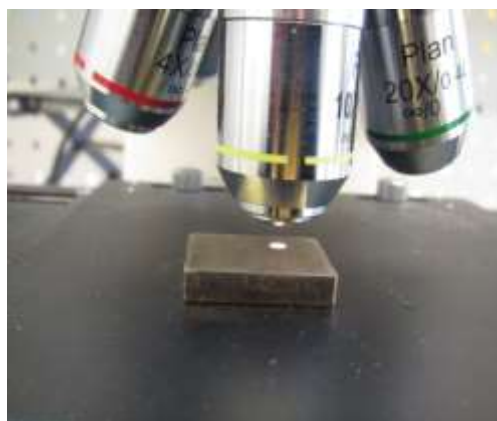
Tutkimuksia varten oli selvitettävä muutamien teräsmateriaalien kemiallinen koostumus.

TAULUKKO 2. Taulukko seosaineista ja materiaaleista

	16Mo3	10CrMo910	13CrMo 4-5	*1.4713	253MA	*1.4301	*1.4404	Alloy 825
C	0,12-0,20	0,08-0,14	0,08-0,18	max 0,12	0,05-0,10	0,0-0,07	0,03	max 0,05
Si	0,35	0,5	0,17-0,37	0,50-1,00	1,40-2,00	0,0-1,00	1	max 0,5
Mn	0,4-0,9	0,4-0,8	0,4-1,00	max 1,00	max 0,8	0,0-2,00	2	max 1,0
Ni	0,3	0,012	MAX 0,012		10,0-12,0	8,00-10,5	10,0-14,0	38,0-46,0
S	0,01	0,01	MAX 0,01	max 0,015	max 0,03	0,0-0,02		max 0,03
P	0,025	0,02	MAX 0,025	max 0,040	max 0,04	0,0-0,50		
Cr	0,03	2,00-2,50	0,4-0,7	6,00-8,00	20,0-22,0	17,5-19,5	16,5-18,5	19,25-23,5
Mo	0,25-0,35	0,90-1,10	0,4-0,6				2,0-2,5	2,5-3,5
W			MAX 0,2					
V			MAX 0,05					
Ti		MAX 0,03	MAX 0,03					0,5-1,2
Cu	0,3	0,3	MAX 0,3					1,5-3,0
Al				0,50-1,00				max 0,2

12.3.2 Koenäytteet

Harjoittelimme korroosiuunin käyttöä. Koenäytteinä oli 10CRM0910 (tulenkestävä musta painekattilateräs) sekä Alloy 825 (K2, seosmetalli). Mikroskoopilla tutkimme koemateriaalin pinnan, ennen ja jälkeen kokeiden. Korroosiuunina käytimme (Carbolite 301), jonka lämpötilaksi asetimme 400 astetta ja ajaksi 96h.



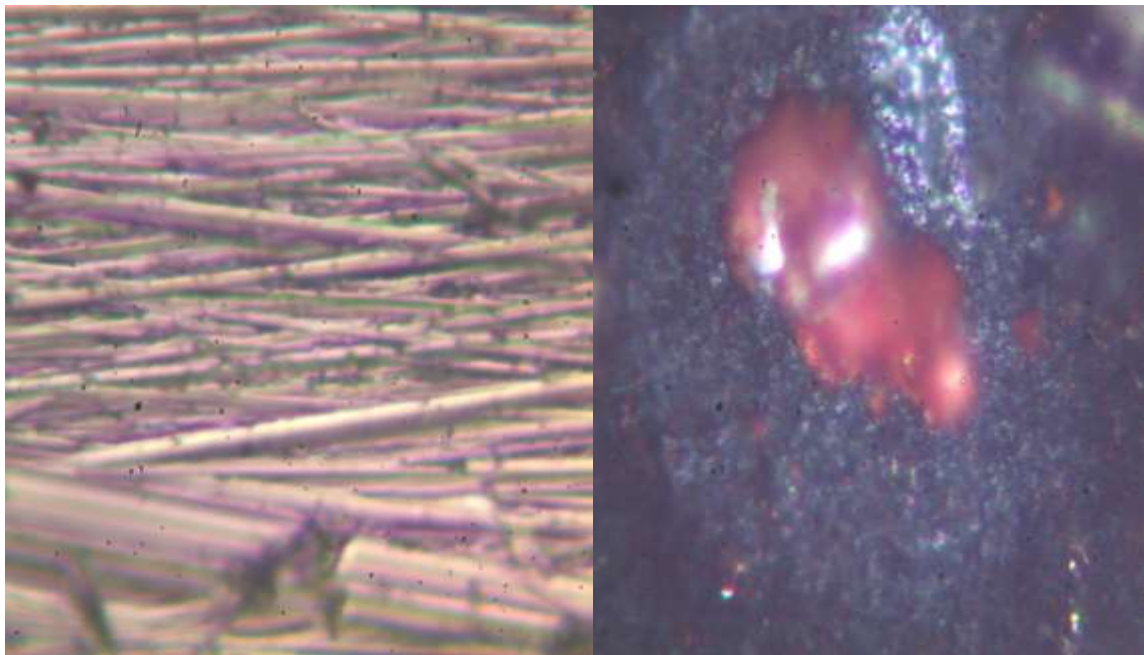
KUVA 16. Mikroskooppi

10CRMO910

Lämmönkestävä teräs kuuluu materiaaliryhmään 5.2 ja sen korkein sallittu käyttölämpötila on 550 astetta. Tyypillisiä käyttökohteita ovat tulistimen osat ja päähöyrylinjan kuuma pää.



KUVA 17. 10CrMo910; lämpötila 400 astetta/96h



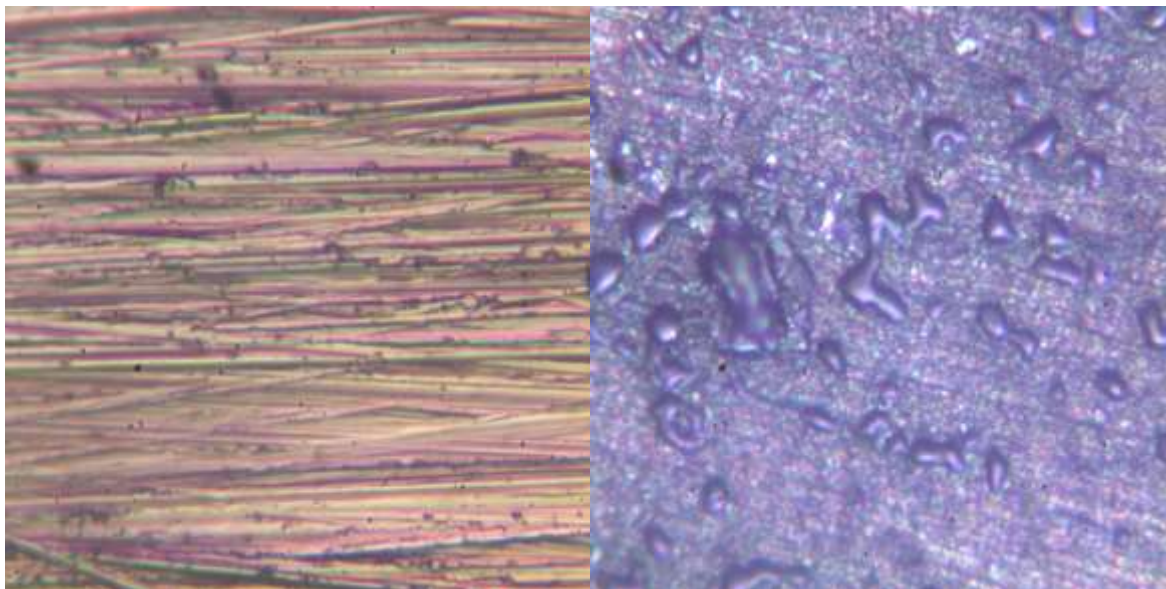
KUVA 18. 50-kertaiset mikroskooppikuvat 10CrMo910:sta

ALLOY 825

Alloy 825 on nikkelseosteinen metalliseos, jonka korkein käyttölämpötila on 1200 astetta. Tyypillisesti sitä käytetään esim. säiliöihin, lämmönvaihtimiin ja tulistimiin.



KUVA 19. Alloy825; lämpötila 400 astetta/96h



KUVA 20. Alloy 825; 50-kertaiset mikroskooppikuvat

13 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä kuumakorroosionmittausmenetelmiin. Korkeiden lämpötilojen vallitessa materiaailta vaaditaan monenlaisia ominaisuuksia. Terästuotteita onkin markkinoilla valtava määrä, joten valmistajan on valmistettava teräs materiaalit korkeisiin lämpötiloihin standardien mukaisesti.

Painelaitelainsäädäntö (869/1999), painelaitedirektiivit (97/23/EY) sekä Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista (938/1999) säätelevät painelaitteiden valmistusta, suunnittelua ja testausta.

Rikkidioksiidin ja kloorin yhdisteet ovat materiaaleja syövyttävimpiä kaasuja, jotka aiheuttavat kuumakorroosiota ja materiaalien syöpymistä. Korroosiokupongeilla voidaan testata kuumakorroosiota niissä olosuhteissa, jotka ovat kullakin hetkellä tulipesässä tai testasuunissa. Korroosiosondi on jäähdytettävä korroosiomittalaite, joten siinä oleviin ”uhriholkkeihin” saadaan haluttu lämpötila ja tätä kautta olosuhteet saadaan halutunlaisiksi, vaikka tulipesän lämpötilat vaihtelisivatkin. Korroosiokuponkien ja korroosiosondin huono puoli on, että niitä on pidettävä koko koejakson ajan savukaasuvirrassa ja tehtävä testit ”uhripaloille” vasta sen jälkeen. Online korroosiomittarilla taas voidaan mitata jatkuvatoimisesti korroosiota, mutta online korroosiomittari on suhteellisen uusi laite ja sen luotettavuus voi olla vielä hieman kysymysmerkki. Online korroosiomittauksen kanssa on kuitenkin mahdollista käyttää savukaasumittaria apuna ja tutkia ovatko muutokset savukaasumittauksen kaasukomponenttimuutoksissa ja korroosiosondin näyttämässä arvoissa samansuuntaisia.

LÄHTEET

(T3DB, 2014-12-24); Toxin and Toxin Target Database (T3DB): Chlorine (englanniksi); 2014-12-24 <http://www.t3db.ca/toxins/T3D0091>

Alexander, 2007 Elliot R. Alexander: Principles of Ionic Organic Reactions. READ BOOKS, 2007. ISBN 9781406746686. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

Antti Kirssi, 2007. 16.4.2007 En2010200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari; Höyrykatiloiden kuumankestävät materiaalit, Lappeenrannassa

Bassam Z. Shakhashiri, 2016 Bassam Z. Shakhashiri: Sulfuric acid (englanniksi) luettu Verkko versio 25.3.2016

Corrosion Resistant Products Ltd, 2016 crp.co.uk/plugvalves.aspx?page=98

Derry & Wiilams, 1993 Thomas Kingston Derry, Trevor Illtyd Williams: A Short History of Technology. Courier Dover Publications, 1993. ISBN 0486274721. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

Detector Oy 20.5.2016; Detector Oy, Turku; 20.5.2016

Don M. Yost, 2007 Don M. Yost: Systematic Inorganic Chemistry. READ BOOKS, 2007. ISBN 1406773026. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

Douglas K. Louie, 2005 Douglas K. Louie: Handbook of Sulfuric Acid Manufacturing. DKL Engineering, Inc, 2005. ISBN 978-0-9738992-0-7. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

FINLEX Ajantasainen lainsäädäntö Painelaitelaki n:o 869/1999.

Huovinen, P. 1991. Kemian luentojen muistiinpanot. Kuoppakankaan yläaste.

Johnson, 1998 William Johnson: Invitation to Organic Chemistry. Jones & Bartlett Publishers, 1998. ISBN 9780763704322. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

KOIVISTOINEN, 2014 Koivistoinen Kirsi 2014. Painelaitemateriaalit (PowerPoint)

Koponen, 2014. Jari Koponen Korroosio kuriin, Kemia aikakauslehti 8/2014

Kuopio, 2014 Korroosio seminaari, Keskiviikko 9.4.2014 klo 8.30 - 14.30, Paikka: Savonia-amk / Tekniikan yksikkö, Opistotie 2 Kuopio, Auditorio

Kutney, 2007 Gerald Kutney: Sulfur, s. 36. ChemTec Publishing, 2007. ISBN 978-1-895198-37-9. Kirja Googlen teoshaussa (viitattu 16.6.2009). (englanniksi)

LEKOLA & MAKKONEN, M. 2005. Pertti Lekola ja Matti Makkonen; Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet WSOY

Linjama, M. 2011. Digital fluid power – state of the art. The Twelfth Scandinavian International Conference on Fluid Power, Toukokuu 18-20, 2011, Tampere, Suomi.

Luodema 2016, Mikko; hydrauliiikan-perusteet. Hydrauliiikapumppu SIXTEK

Malux, 15.3.2016 Happamoituminen (Kemian tutkimuksia) Matemaattisten aineiden opetuksen tutkimus- ja kehittämiskeskus. Viitattu 28.11.2009

Mark, James E. 2006 Physical properties of polymers handbook. Springer, 2006. ISBN 0-387-31235-8. corrosion&f=false Teoksen verkkoversio

Mauseth , 1991 James D. Mauseth: Botany: An Introduction to Plant Biology. Burlington, Massachusetts: Jones & Barlett Learning, 1991. ISBN 9780030938931. Teoksen verkkoversio.

McKetta & Weismantel, 1999 John J. McKetta, Guy E. Weismantel: Encyclopedia of Chemical Processing and Design. CRC Press, 1999. ISBN 9780824726188. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

Metallioppi Miekk-oja H.M, 1986. Lindroos , Sulonen, Veistinen, 1986. Otava

Myers , 2007 Richard L. Myers: The 100 Most Important Chemical Compounds: A Reference Guide. Greenwood Press, 2007. ISBN 9780313337581. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

OAM, 17.5.2016. Oulun ammattikorkeakoulu, säätötekniikan perusteet.doc; automaatiolabrat/opetusmateriaali

Patnaik, 2002 Pradyot Patnaik: Handbook of inorganic chemicals. McGraw-Hill Professional, 2002. ISBN 9780070494398. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

Pesonen, Sami diplomityö, doria, 2014.

R. A. Tomlinson , 1976 The Perachora Waterworks: Addenda, R. A. Tomlinson, The Annual of the British School at Athens, Vol. 71, (1976), pp. 147-148

Riegel's Handbook, 2007 Riegel's Handbook of Industrial Chemistry, Emil Raymond Riegel, Page 436

Rikkihapon ominaisuuksia Lukion kemian demonstraatioita

Ronald C. Lasky,1995 Ronald Lasky, Ulf L. Österberg, Daniel P. Stigliani: Optoelectronics for data communication. Academic Press, 1995. ISBN 0-12-437160-4. Teoksen verkkoversio.

savcorproducts, 2016 savcorproducts.com.au/corrosion-monitoring-equipment/ luettu 16.5.2016

Savonia palvelut 2016 portal.savonia.fi/amk/fi/palvelut-yrityksille/asiantuntijapalvelut/energiatekniikan-palvelut/savukaasuanalyysit

Savonia, 2016 Savonian esite/Energiatutkimuskeskus

SFS-STANDARDISOINTI;2006.Painelaitestandardit 2006; SFS- ja ISO-standardit, www.sfs.fi/luettelo/

Tampereen teknillinen yliopisto,2005, Korroosio – VMV2005- EI KAUPALLINEN TARKOITUS

Tukes, 2003. http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/2_2003.pdf

Tunturi. 1988, s. 127. P.J. Tunturi: Korroosio käsikirja, 1988. Suomen korroosioyhdistys ISBN: 9519991670

Työterveyslaitos Rikkihapon kansainvälinen kemikaalikortti

Työterveyslaitos, 21.3.2016 OVA-ohje: FLUORIVETY JA FLUORIVETYHAPPO <https://www.ttl.fi/ova/flurvet.html>

Työterveyslaitos, Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Rikkihappo 8.12.2008. Työterveyslaitos. Viitattu 28.11.2009.

Wiberg, Wiberg & Hollman, 2001. Egon Wiberg, Nils Wiberg, Arnold Frederick Holleman: Inorganic chemistry. Academic Press, 2001. ISBN 978-0-12-352651-9. Kirja Googlen teoshaussa. (englanniksi)

Wikipedia, Akkuhappo

Wikipedia, Hydrauliikka